

19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

12 Off nl gungsschrift
10 DE 44 19 476 A 1

51 Int. Cl.⁵:
G 01 B 11/06
G 01 J 5/16
G 05 D 21/00
G 05 D 23/27

21 Aktenzeichen: P 44 19 476.5
22 Anmeldetag: 3. 6. 94
43 Offenlegungstag: 15. 12. 94

DE 44 19 476 A 1

30 Innere Priorität: 32 33 31
03.06.93 DE 43 18 520.7

71 Anmelder:
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der
angewandten Forschung eV, 80636 München, DE

74 Vertreter:
Münich, W., Dipl.-Phys. Dr.rer.nat.; Rösler, U.,
Dipl.-Phys.Univ., Pat.-Anwälte, 80689 München;
Steinmann, O., Dr., Rechtsanw., 81677 München

72 Erfinder:
Erfinder wird später genannt werden

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Verfahren und Vorrichtung zur Bestimmung von Schichtdicke und Substrattemperatur

57 Die Erfindung beschreibt ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Temperatur- und Schichtdickenmessung während des Beschichtungsprozesses mit bekannten Beschichtungstechnologien in Halbleiterfertigungsanlagen, Plasma-, Ionen- und anderen Trockenätzanlagen sowie bei der Herstellung optischer Schichten. Die aktuellen Meßwerte aus den Schichtdicken- und Temperaturmessungen können zur Prozeßkontrolle herangezogen werden.
Als Folge der Interferenzerscheinungen der thermischen Substratsstrahlung an der aufwachsenden Schicht ändert sich die Emissivität ϵ während der Beschichtung ständig, so daß eine pyrometrische Temperaturmessung nicht angewandt werden kann. Besonders problematisch ist die pyrometrische Temperaturmessung an Vielschichtsystemen, deren aktuelle Emissivität von den Dicken aller Schichten, deren optischen Konstanten, den Temperaturabhängigkeiten der optischen Konstanten, dem Beobachtungswinkel und der Beobachtungswellenlänge abhängt.
Dieses grundlegende Problem wird mit der vorliegenden Erfindung gelöst, indem mit einem Reflektometer, die Reflexivität R des Wafers bestimmt wird. Aufgrund des Energieerhaltungssatzes gilt $\epsilon = 1 - R$, so daß mit dem Reflektometer direkt die aktuelle Emissivität des gesamten (Vielschicht-)Systems bestimmt wird. Die Temperaturmessung erfolgt dann durch eine ermittelte Auswertevorschrift, während die Dicke durch einen Vergleich der Reflektometerkurve mit der theoretischen Schichtdickenabhängigkeit bestimmt wird.

DE 44 19 476 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 10. 94 408 050/407

10/33

Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Bestimmung der Schichtdicke und der Substrattemperatur während eines Beschichtungsvorgangs.

Die Messung der Substrattemperatur ist eine wesentliche Voraussetzung für die Prozeßkontrolle von Beschichtungsvorgängen. Die Substrattemperatur bestimmt das Kristallisationsverhalten, kennzeichnet die Aufwachsungsgeschwindigkeit, die Diffusionsgeschwindigkeit etc. und beeinflusst thermodynamische, chemische und physikalische Prozesse gleichermaßen. In der Halbleiterherstellung und der elektronischen Bauteilfertigung, bei der optischen Vergütung, der Herstellung von Hochleistungsoptiken, IOC (integrated optical circuits), Halbleiterlaserdioden etc. ist es deshalb unbedingt erforderlich, die Temperatur des Substrats und damit der hergestellten Schicht zu kennen.

Dies gilt auch für alle Prozesse, bei denen Beschichtungstechnologien, wie z. B. CVD (chemical vapor deposition), MBE (molecular beam epitaxy), thermische Oxidation, Kathodenzerstäubung ("sputtering") oder Plasmopolymerisation eingesetzt werden.

Bei einer Reihe von Prozeßbedingungen, wie beispielsweise hohe Temperaturen, Ultrahochvakuum (UHV), chemisch reaktive Umgebung, rotierende Substrate ist eine direkte Messung der Substrattemperatur beispielsweise über geeichte Platinfilmwiderstände oder andere Kontaktthermometer, wie Thermoelemente nicht möglich, so daß die Substrattemperatur über pyrometrische Messungen bestimmt wird. Da die detektierte Temperaturstrahlung an der aufwachsenden Schicht interferiert, ist die gemessene Strahlungsintensität sowohl von der Temperatur als auch von der Schichtdicke abhängig.

Dies führt dazu, daß das Pyrometersignal während des Beschichtungsprozesses auf Grund der sich ändernden Schichtdicke auch dann oszilliert, wenn die tatsächliche Temperatur konstant bleibt.

"In situ-Meßsysteme" zur Bestimmung der Substrattemperatur in Echtzeit während der Beschichtung sind erst seit 1988 bekannt. Das von E.S. Hellmann und J.S. Harris in J. Crys. Grow., 81, 38—42, (1988) beschriebene Verfahren beruht auf der Temperaturabhängigkeit der Bandlücke von Halbleiterwafern und kann nur bei Prozessen angewandt werden, deren Prozeßkammergeometrie eine Transmissionsmessung zuläßt, und bei denen Substratmaterialien eingesetzt werden, deren Bandkante im spektroskopisch zugänglichen Bereich liegt. So kann beispielsweise an Quarz- oder Metallsubstraten die Temperatur nicht gemessen werden.

Dieses Verfahren ist deshalb bis jetzt in seiner praktischen Anwendbarkeit auf MBE-(Molecular Beam Epitaxy)Anlagen beschränkt, die für "indium free mouting" ausgelegt sind, d. h. nicht — wie üblich — auf einen Molybdänblock aufgeklebt, sondern direkt vor die Heizelemente montiert werden.

Weitere Verfahren nutzen die Temperaturabhängigkeit des Brechungsindex aus (z. B. ellipsometrische Temperaturmessung). Dies setzt allerdings eine genaue Kenntnis der materialabhängigen funktionalen Zusammenhänge zwischen Temperatur und Brechungsindex voraus. Da für die meisten Materialien dieser Zusammenhang nicht bekannt ist, werden diese Verfahren bis jetzt noch kaum angewendet.

Gemäß dem Stand der Technik ist deshalb eine "in-situ Temperaturmessung" des Substrates während der Beschichtung in den meisten Fällen nicht möglich oder zumindest nicht praktikabel.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Realisierung dieses Verfahrens anzugeben, die die gleichzeitige Bestimmung von Schichtdicke und Substrattemperatur in Beschichtungsprozessen ermöglichen. Beide Größen sollen dabei "in situ" direkt auf der Waferoberfläche gemessen werden; das Verfahren soll ferner echtzeitfähig sein und sich insbesondere als Meßsystem zur Prozeßkontrolle eignen.

Eine erfindungsgemäße Lösung dieser Aufgabe ist im Patentanspruch 1 angegeben. Weiterbildungen der Erfindung sind in den Ansprüchen 2 folgende gekennzeichnet.

Die Erfindung geht von folgender Überlegung aus:

Als Folge der Interferenzerscheinungen ändert sich die Emissivität (bzw. der Emissionsfaktor) ϵ während der Beschichtung ständig, so daß eine pyrometrische Temperaturmessung ohne Korrekturen keine auch nur annähernd zutreffenden Ergebnisse liefert. Besonders problematisch ist die pyrometrische Temperaturmessung an Vielschichtsystemen, deren aktuelle Emissivität von den Dicken aller Schichten, deren optischen Konstanten, den Temperaturabhängigkeiten der optischen Konstanten, dem Beobachtungswinkel und der Beobachtungswellenlänge abhängt.

Erfindungsgemäß wird nun zunächst die Temperatur T_0 des Substrats bei Beginn des Beschichtungsvorgangs ermittelt. Während des Beschichtungsvorgangs wird laufend oder zu bestimmten Zeitpunkten die Emissivität bzw. der Emissionsfaktor ϵ des Gesamtsystems mittels eines Reflektometers gemäß

$$\epsilon = 1 - R$$

bestimmt.

Zur Bestimmung der Temperatur T wird das Ausgangssignal eines Pyrometers mit der ermittelten Emissivität ϵ der Schicht korrigiert, während die Schichtdicke durch Vergleich der Reflektometerkurve mit der theoretischen Schichtdickenabhängigkeit bestimmt wird.

Dies soll im folgenden näher erläutert werden:

Die vom Substrat emittierte Temperaturstrahlung wird an der aufwachsenden Schicht mehrfach reflektiert und gebrochen. Die entstehenden Teilstrahlen interferieren miteinander, so daß das Ausgangssignal des Pyrometers auch bei konstanter Temperatur T in Abhängigkeit von der Schichtdicke d oszilliert.

Man kann diesen Sachverhalt durch Einführung eines von der Schichtdicke abhängigen Emissionskoeffizienten (Emissivität) $\epsilon(\lambda, T, d)$ beschreiben. Das Ausgangssignal P des Pyrometer ist dann proportional zu

$$P \propto \varepsilon \cdot f_{\text{planck}} = \varepsilon \cdot c_1 / [\lambda^5 \cdot (e^{c_2/\lambda T} - 1)]$$

hierbei sind

$$c_1 = 3,741 \cdot 10^4 \text{ W cm}^{-2} \mu\text{m}^4,$$

$$c_2 = 1,438 \cdot 10^4 \mu\text{m K}.$$

f_{planck} steht für die Plancksche Strahlungsformel und λ für die Wellenlänge.

Für das auf den Anfangswert P_0 des Pyrometer-Ausgangssignals normierte Signal ergibt sich

$$P/P_0 = \varepsilon \cdot f_{\text{planck}}(\lambda, T) / [\varepsilon_0 \cdot f_{\text{planck}}(\lambda, T_0)]$$

T_0 ist die Temperatur beim Beginn des Beschichtungsvorgangs.

Nach dem Kirchhoffschen Gesetz ist die Emission gleich der Absorption: $\varepsilon = A$. Da auf Grund des Energieerhaltungssatzes aber

$$\text{Reflektivität } R + \text{Absorption } A + \text{Transmission } TR = 1$$

gelten muß, ergibt sich für den Fall eines undurchsichtigen Substrats (Transmission $TR = 0$)

$$\varepsilon = 1 - R.$$

Erfindungsgemäß wird die Reflektivität bzw. der Reflexionskoeffizient R beispielsweise mittels des Reflektometerasts des ebenfalls erfindungsgemäß vorgeschlagenen Meßaufbaus gemessen.

Für die auf den Anfangswert L_0 normierte Intensität L des Ausgangssignals im "Reflektorast" ergibt sich

$$L/L_0 = R/R_0$$

Damit erhält man für ε

$$\varepsilon = 1 - R = 1 - R_0 \cdot L/L_0$$

wobei R_0 , die Reflexion des unbeschichteten Substrates, durch Messung oder Eichung ermittelt werden kann.

Mit den auf den Anfangswert normierten Detektorsignalen P/P_0 und L/L_0 erhält man

$$P/P_0 = \frac{(1 - \frac{L}{L_0} \cdot R_0)}{(1 - R_0)} \cdot \frac{\frac{c_1}{\lambda^5} \frac{1}{e^{c_2/\lambda T} - 1}}{f_{\text{planck}}(\lambda, T_0)}$$

Durch Umstellung erhält man aus dieser Gleichung eine Auswertevorschrift, mit der sich die "wahre" Temperatur aus dem Ausgangssignal des Pyrometers bestimmen läßt:

$$T = \frac{c_2}{\lambda} \left(\ln \left[1 + \frac{1}{\frac{\lambda^5}{c_1} f_{\text{planck}}(\lambda, T_0) \frac{P}{P_0} \frac{1-R_0}{1-R_0 \frac{L}{L_0}}} \right] \right)^{-1} \quad (1)$$

Es ergibt sich also eine eindeutige Auswertevorschrift, die eine Temperaturbestimmung ermöglicht, die nicht mehr von der aufwachsenden Schichtdicke sowie mangelnder Kenntnis der wahren Materialkonstanten verfälscht wird.

Die Anfangstemperatur muß zur Auswertung bekannt sein. Sie läßt sich z. B. durch einfache Pyrometrie bestimmen.

Das erfindungsgemäße Verfahren kann mit einer Vorrichtung ausgeführt werden, die neben einem Pyrometer bzw. einem pyrometrischen Detektor zur Messung der Temperaturstrahlung einen Laser oder eine monochromatisierte andere Lichtquelle, beispielsweise eine Halogenlampe mit vorgeschaltetem Interferenzfilter, und einen Detektor zur Erfassung der von dem Substrat bzw. der aufgetragenen Schicht reflektierten Strahlung aufweist. Der Detektor erfaßt die reflektierte Strahlung unter einem Beobachtungswinkel, der dem Einfallswinkel der auf das Substrat gerichteten monochromatischen Strahlung entspricht.

Aus dem Ausgangssignal des Detektors für die reflektierende Strahlung wird die von der jeweiligen Schichtdicke abhängige Emission des beschichteten Substrats bestimmt.

Dabei ist es bevorzugt, wenn die Wellenlänge, für die die thermische Strahlung gemessen wird, und die Wellenlänge, bei der die Reflektivität der Schicht gemessen wird, gleich sind.

Bei einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung werden die thermische Strahlung des Substrats und die reflektierte Strahlung einer Lichtquelle durch jeweils einen Detektor gemessen, wobei mittels einer zu jedem Detektor gehörenden phasenempfindlichen Modulationstechnik (Lock-in Verstärkung) sichergestellt wird, daß in einem Detektorast A nur die vom Substrat reflektierte Strahlung der Lichtquelle, die proportional zur Reflektivität R ist, und im zweiten Detektorast B nur die thermische Strahlung proportional zu $\epsilon \cdot f_{\text{planck}}$ erfaßt wird. Die phasenempfindliche Modulationstechnik besteht dabei aus jeweils einem Chopper, der mit einem Lock-in Verstärker in Verbindung steht.

Das Licht der Lichtquelle wird mittels eines optischen Modulators (Chopper) in den Frequenzbereich um f_1 gemischt. Am Detektor im Reflektometerast A für die reflektierte Strahlung liegen also Frequenzkomponenten um f_1 (von der reflektierten Strahlung) sowie sehr tieffrequente (praktisch DC) Komponenten (von der thermischen Strahlung) vor. Der zugehörige Lock-in Verstärker registriert nur solche Signale, die in einem schmalen Band um f_1 liegen. Die tieffrequenten thermischen Komponenten werden also herausgefiltert. Am Ausgang dieses Lock-in Verstärkers liegt damit ein Signal proportional zur Reflektivität R an. Analog verhält es sich mit dem Ast B des Detektors für die Substratstrahlung, wobei die thermische Strahlung vom zugehörigen Chopper in einen Frequenzbereich um f_2 moduliert wird, während die reflektierte Strahlung in den Frequenzbereichen $f_1 + f_2$ und $f_1 - f_2$ vorliegt. Der zweite Lock-in Verstärker unterdrückt alle Komponenten, die nicht in einem schmalen Frequenzband um f_2 liegen. Falls f_1 und f_2 genügend weit auseinander liegend gewählt werden, ist die Ausgangsspannung an diesem Lock-in Verstärker proportional zu $\epsilon \cdot f_{\text{planck}}$.

An den Detektoren ist eine analoge oder eine digitale Signalverarbeitung angeschlossen, die aus den Signalen in Echtzeit mit der Auswertevorschrift nach Gleichung (1) die aktuelle Temperatur T bestimmt, während die Schichtdicke durch einen Vergleich der Reflektometerkurve mit der theoretischen Schichtdickenabhängigkeit ermittelt wird.

Die auf diese Weise bestimmte Temperatur T kann zur Prozeßkontrolle bzw. -regelung eingesetzt werden.

Eine bevorzugte Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht also aus einem Reflektometerast A und einem Substratstrahlungsast B zur Messung der Intensität der thermischen Substratstrahlung.

Im Substratstrahlungsast B ist ein erster Detektor und im Reflektometerast A ein zweiter Detektor zur Erfassung der von einer Lichtquelle ausgesendeten und vom Wafer reflektierten Strahlung vorgesehen.

Die Monochromatisierung der Strahlung der Lichtquelle des Reflektometerastes und der thermischen Strahlung des Substrates erfolgt dabei durch denselben oder durch baugleiche Filter. Jedem Detektor ist ein Chopper sowie ein Lock-in Verstärker zugeordnet.

Die Meßvorrichtung ist so aufgebaut, daß der Einfallswinkel des Reflektometerlichtes und der Beobachtungswinkel des Pyrometerastes gleich sind.

Als Lichtquellen können monochromatische Quellen, wie beispielsweise Laser oder Weißlichtquellen in Form von Globalstrahlen, Schwarzkörperstrahlern, Halogenlampen u. a. m. eingesetzt werden.

Das erfindungsgemäße Verfahren zeichnet sich gegenüber konventionellen Meßmethoden durch eine Reihe wesentlicher Vorteile aus:

- Die Bestimmung der Emissivität ist völlig unabhängig von irgendwelchen Vorkenntnissen über das Material, d. h. weder die optischen Konstanten noch die Dicken der aufgetragenen Schichten werden für eine Temperaturmessung benötigt.

- Für eine Temperaturmessung gibt es praktisch keine Einschränkungen bezüglich Material- und Schichtdickenkonfiguration; Halbleiter (Si, GaAs, InP, InSb, HgTe, CdTe sowie ternäre und quartäre Systeme) und Isolatoren sind genauso geeignet wie Metallschichten; die Dicken der aufgetragenen Schichten dürfen zwischen 1 Atomlage und mehreren hundert μm liegen.

- Die Auswertung erfolgt in Echtzeit. Somit kann das Verfahren auch zur Temperatursteuerung schnell veränderlicher Prozesse eingesetzt werden (z. B. in RTP-Anlagen [Rapid Thermal Processing]).

- Während des Beschichtungsvorgangs werden gleichzeitig Temperatur und Schichtdicke gemessen.

- Die Temperaturmessung wird nicht durch die Interferenzoszillationen der Temperaturstrahlung an der aufwachsenden Schicht verfälscht.

- Das Auflösungsvermögen sowohl bezüglich Temperatur als auch Schichtdicke ist hoch.

- Sehr günstiges Kosten/Nutzen-Verhältnis, da nur wenige kommerziell erhältliche Komponenten benötigt werden.

Darüberhinaus gelten die üblichen Vorteile von optischen in-situ Messungen:

- Kein zusätzlicher Handhabemechanismus.
- Unempfindlich gegenüber feindlichen Umgebungen.
- Gute Einkopplungsmöglichkeit in Vakuumprozesse.

Einsatzgebiete sind die Vermessung von Temperatur und Schichtdicke während des Prozesses und daraus ableitbare Anwendungen, wie z. B. die Prozeßsteuerung und -überwachung in der Beschichtungstechnologie, experimentelle Überprüfung von Simulationsmodellen in der Grundlagenforschung und der Prozeßoptimierung.

Die erfindungsgemäße Temperatur- und Schichtdickenmessung kann während des Beschichtungsvorganges von Substraten mit bekannten Beschichtungstechnologien in Halbleiterfertigungsanlagen, Plasma-, Ionen- und anderen Trockenätzanlagen sowie bei der Herstellung optischer Schichten ausgeführt werden. Dabei bestehen praktisch keine Beschränkungen hinsichtlich des verwendeten Beschichtungsverfahrens.

Die Erfindung wird nachstehend ohne Beschränkung des allgemeinen Erfindungsgedankens anhand eines Ausführungsbeispiels unter Bezugnahme auf die Zeichnung exemplarisch beschrieben, auf die im übrigen bezüglich der Offenbarung aller im Text nicht näher erläuterten erfindungsgemäßen Einzelheiten ausdrücklich verwiesen wird. Es zeigt:

Fig. 1 die prinzipielle Darstellung der erfindungsgemäßen Meßvorrichtung, und

Fig. 2 einen weiteren möglichen optischen Aufbau.

Fig. 1 zeigt ein Ausführungsbeispiel für eine zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens geeignete erfindungsgemäße Vorrichtung.

Die von einem Substrat 1 ausgehende Strahlung — i.e. die thermische Strahlung und die reflektierte Strahlung — wird von einem optischen System 2 auf ein schmalbandiges Interferenzfilter 3 gerichtet, das die Strahlung monochromatisiert. Im Strahlengang nach dem Filter 3 sind Strahlteiler 4.1 und 4.2 vorgesehen, die die Strahlung auf zwei "Äste" aufteilen.

In dem einen Ast wird die Intensität der thermischen Strahlung von einem ersten Detektor 7 erfaßt, der für die Wellenlänge empfindlich ist, die das Filter 3 passiert.

Ferner ist eine Lichtquelle 6 vorgesehen, deren Strahlung bei dem gezeigten Ausführungsbeispiel durch den Filter 3, durch den auch die von dem Substrat ausgehende Strahlung hindurchtritt, auf das Substrat auftrifft.

Das reflektierte Licht der Lichtquelle 6 wird von dem Strahlteiler 4.1 über ein optisches System 5 auf einen zweiten Detektor 8 gerichtet, der die Intensität der reflektierten Strahlung ermittelt.

Um zu erreichen, daß in dem Detektorast B nur die thermische Strahlung proportional zu $\epsilon \cdot f_{\text{planck}}$ und im anderen Detektorast A nur die reflektierte Strahlung proportional zur Reflektivität R gemessen wird, wird bei dem gezeigten Ausführungsbeispiel phasempfindliche Modulationstechnik (Lock-in Verstärkung) eingesetzt. Hierzu ist jedem Detektor ein optischer Modulator (Chopper) 9 bzw. 11 sowie ein Lock-in Verstärker 10 bzw. 12 zugeordnet.

Das mit dem Lock-in Verstärker verstärkte Ausgangssignal des Detektors 8 für die reflektierte Strahlung enthält damit lediglich Frequenzkomponenten um die Frequenz f1, verursacht durch die von der Lichtquelle 6 ausgesandte, vom Chopper 9 in den Frequenzbereich um f1 gemischte und vom Substrat 1 reflektierte Strahlung. Damit liegt am Ausgang des Lock-in Verstärkers 10 ein Signal an, das proportional zur Reflektivität R ist.

Im Ast B wird in analoger Weise die thermische Strahlung des Substrats 1 vom Detektor 7 empfangen, die mittels des Choppers 11 in einen Frequenzbereich um f2 moduliert wird. Die Ausgangsspannung am Lock-in Verstärker 12 ist hier proportional zu $\epsilon \cdot f_{\text{planck}}$. Die weitere Auswertung erfolgt auf der Grundlage der erfindungsgemäßen Auswertevorschrift nach Gleichung (1).

Die dargestellte Vorrichtung stellt nur eine von mehreren möglichen Aufbauten dar. Bei anderen Ausführungsformen muß beispielsweise die Einfallsrichtung der Strahlung nicht senkrecht sein. In diesem Falle müssen dann allerdings die beiden Detektoräste A und B von der Lichtquelle räumlich getrennt werden.

Fig. 2 zeigt ein Beispiel für die Registrierung der Strahlung unter einem von 90 Grad abweichenden Winkel. Dabei sind gleiche Teile mit den gleichen Bezugszeichen wie in Fig. 1 bezeichnet, so daß auf eine erneute Vorstellung verzichtet wird.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung der Schichtdicke und der Substrattemperatur während der Beschichtung von Substraten, mit folgenden Schritten:

- zunächst wird die Temperatur T_0 des Substrats bei Beginn des Beschichtungsvorgangs ermittelt,
- die Emissivität bzw. der Emissionskoeffizient ϵ des Gesamtsystems wird während des Beschichtungsvorgangs mittels eines Reflektometers gemäß

$$\epsilon = 1 - R$$

bestimmt,

- zur Bestimmung der Temperatur T wird das Ausgangssignal eines Pyrometers mit der ermittelten Emissivität ϵ der Schicht korrigiert,
- die Schichtdicke wird durch Vergleich der Reflektometerkurve mit der theoretischen Schichtdickenabhängigkeit bestimmt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zur Bestimmung der Temperatur das Ausgangssignal des Pyrometers nach der folgenden Auswertevorschrift korrigiert wird:

$$T = \frac{C_2}{\lambda} \left(\ln \left[1 + \frac{1}{\frac{\lambda^5}{C_1} f_{\text{planck}}(\lambda, T_0) \frac{P}{P_0} \frac{1-R_0}{1-R_0 \frac{L}{L_0}}} \right] \right)^{-1}$$

hierbei bedeuten:

C_1 $3,741 \cdot 10^4 \text{ W cm}^{-2} \mu\text{m}^4$

C_2 $1,438 \cdot 10^4 \mu\text{m K}$

λ Meß-Wellenlänge

P aktuelles Ausgangssignal des Pyrometers

P_0 Ausgangssignal des Pyrometers bei der Anfangstemperatur T_0

R_0 Reflektivität bei der Anfangstemperatur T_0
ferner gilt:

$$\varepsilon = 1 - R = 1 - (L/L_0) \cdot R_0.$$

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Anfangstemperatur T_0 durch einfache Pyrometrie ermittelt wird.

4. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß ein Pyrometer und ein Reflektometer vorgesehen sind, deren Ausgangssignale an einer Auswerteinheit anliegen.

5. Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß Detektoren (7, 8) vorgesehen sind, die die thermische Strahlung des Substrates (1) und die reflektierte Strahlung einer Lichtquelle (6) erfassen, daß die Ausgangssignale jedes Detektors mittels phasenempfindlicher Modulationstechnik (Lock-in Verstärkung), bestehend aus jeweils einem Chopper (9, 11) sowie einem Lock-in Verstärker (10, 12) verstärkt werden, so daß von dem einem Detektorast A nur die vom Substrat (1) reflektierte Strahlung der Lichtquelle (6) proportional zur Reflektivität und im anderen Detektor B nur die thermische Strahlung proportional zu $\varepsilon \cdot f_{\text{planck}}$ gemessen wird, und

daß an die Detektoren (7, 8) eine analoge oder eine digitale Signalverarbeitung angeschlossen wird, die aus den Signalen in Echtzeit die Temperatur und gegebenenfalls die Schichtdicke bestimmt.

6. Vorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß das Licht der Lichtquelle (6) mittels des optischen Modulators/Choppers (9) in dem schmalen Frequenzbereich um f_1 bereitgestellt wird und die thermische Strahlung vom zweiten Chopper (11) in einem Frequenzbereich um f_2 moduliert wird.

7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 4 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Einfallswinkel des Lichts der Lichtquelle und der Beobachtungswinkel des Pyrometerastes gleich sind.

8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 4 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Lichtquelle (6) eine monochromatische Lichtquelle und insbesondere ein Laser oder eine Weißlichtquelle, wie ein Globalstrahlchen, ein Schwarzkörperstrahler oder eine Halogenlampe ist.

9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 4 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß bei nicht senkrechtem Einfall der Strahlung auf das Substrat (1) die beiden Detektoräste A und B räumlich getrennt von der Lichtquelle (6) ausgeführt sind.

10. Verwendung einer Vorrichtung nach einem der Ansprüche 4 bis 9 zur Prozeßregelung in einer Anlage zur Fertigung von Halbleitern und/oder in einer Beschichtungsanlage.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

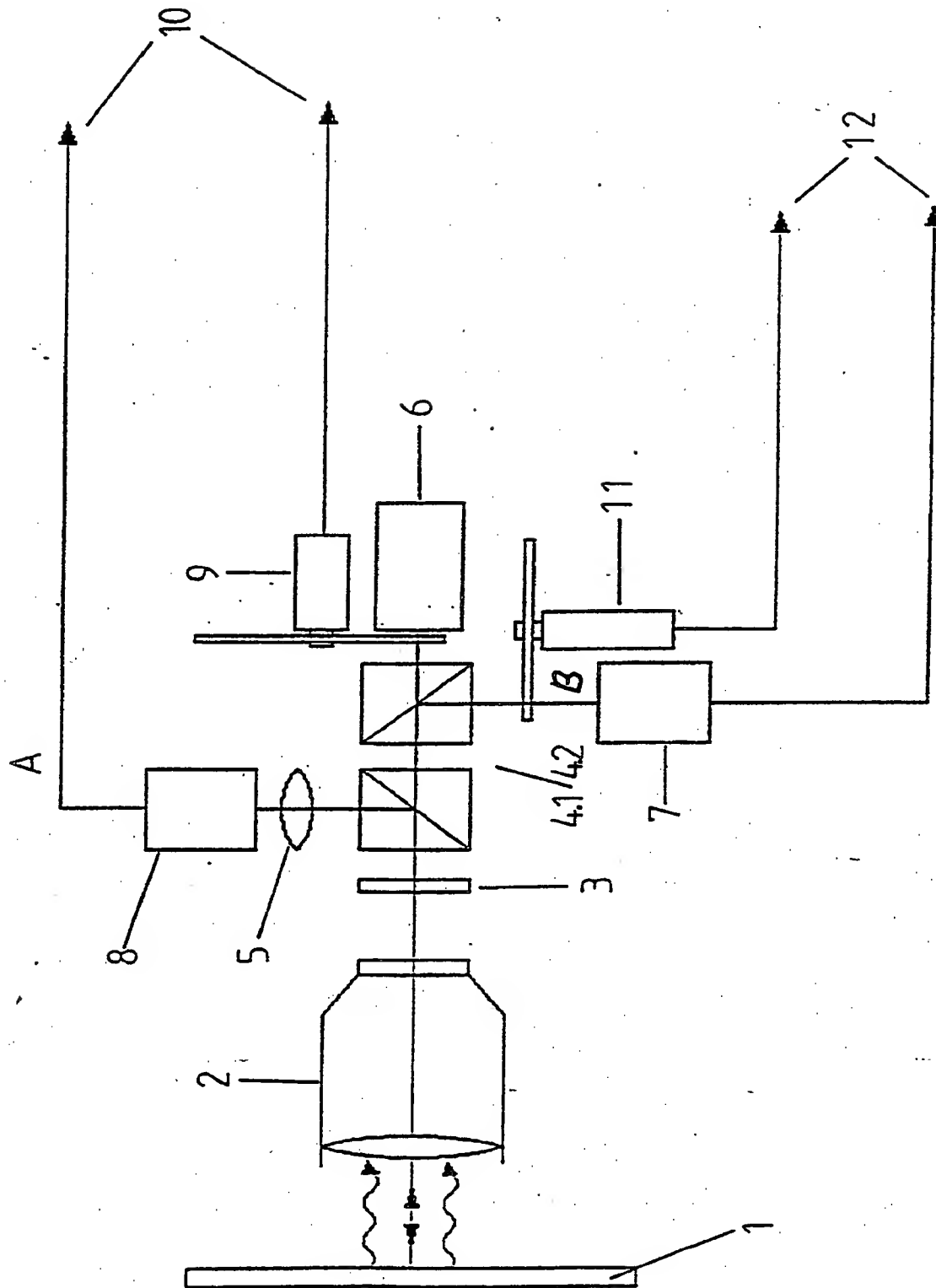


FIG. 1

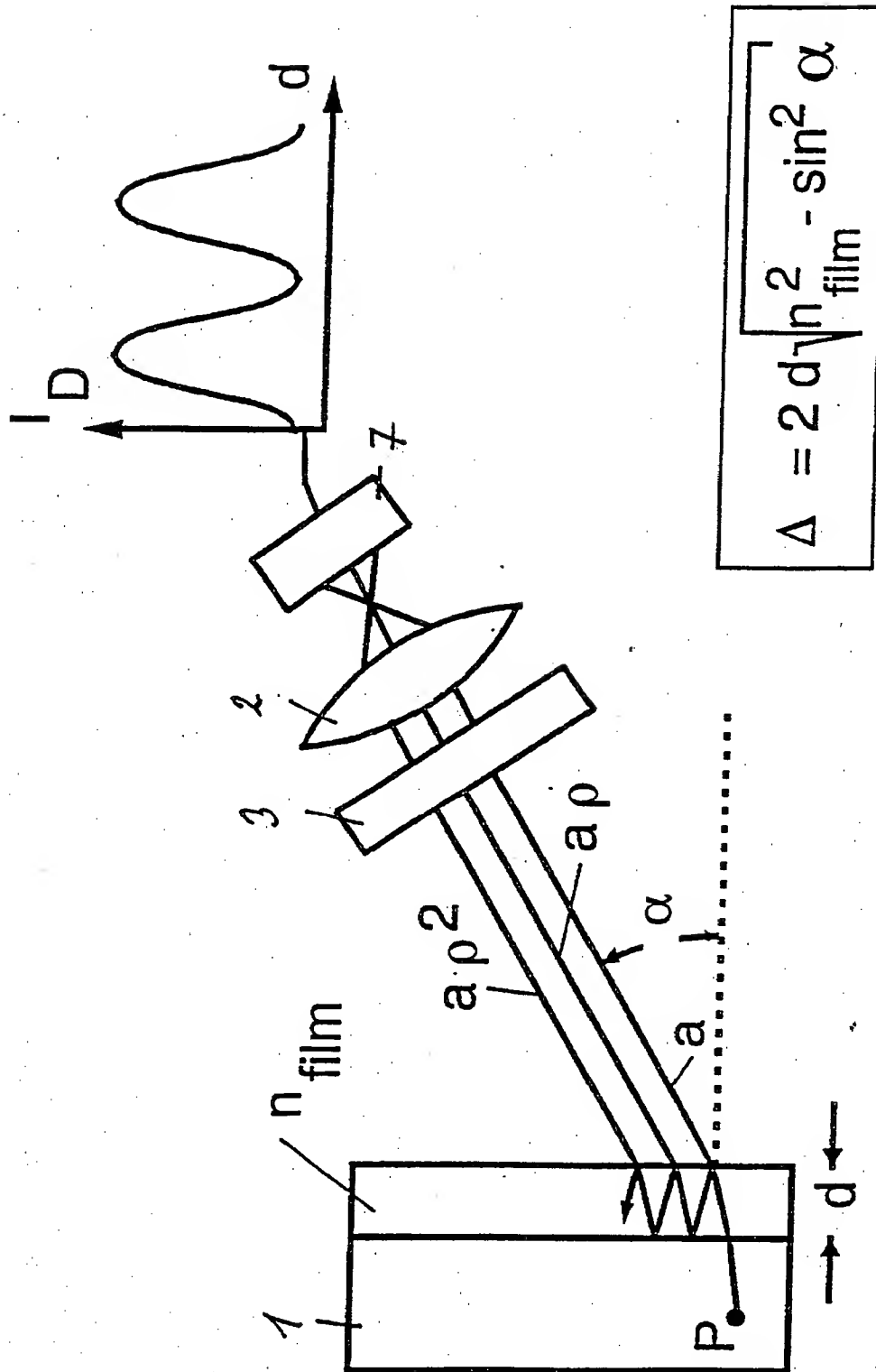


Fig. 2